

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-271430

(43)Date of publication of application : 08.10.1999

(51)Int.Cl. G01S 13/34  
G01S 13/44  
G01S 13/50  
G01S 13/72  
G01S 13/93

(21)Application number : 10-077965

(71)Applicant : TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB  
INC

(22)Date of filing : 25.03.1998

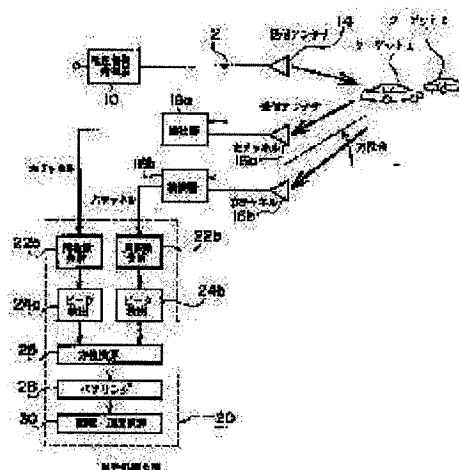
(72)Inventor : ASANO KOICHI  
OSHIMA SHIGEKI  
HARADA TOMOYASU  
YAMADA NAOYUKI

## (54) RADAR EQUIPMENT FOR AUTOMOBILE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the measuring accuracy and reliability of radar equipment for an automobile under such a condition that a plurality of targets, etc., exist.

**SOLUTION:** Reflected waves from a target are received by two reception antennas 16a and 16b for left- and right channels. A signal processor 20 performs frequency analysis on the received waves of the left and right channels. An azimuth computing section 26 decides the azimuth to the target by a phase monopulse method by using a pair of peaks at which the frequencies are coincident with each other in the left and right channels. A pairing section 28 pairs the peaks in the rise and fall phase periods of the FMCW method with each other. The pairing section 28 constitutes a peak pair by selecting the peaks to which the same azimuth is given by means of the azimuth computing section 26 out of many existing peaks. A distance and speed computing section 30 decides the distance to and speed of the target based on the FMCW method by using the peak pair decided by means of the pairing section 28.



Publication number : 11-271430

Date of publication of application : October 8, 1999

Application number : 10-077965

Date of filing : March 25, 1998

Applicant : Toyota Central Res & Dev Lab Inc.

Inventors : ASANO, Koichi et al.

[Title of the invention]

Radar Device for Automobile

[Abstract]

[Problem to be solved]

To improve the measuring accuracy and reliability of radar device for an automobile under such a condition that a plurality of targets, etc., exist.

[Solution]

Reflected waves from a target are received by two receiving antennas 16a and 16b for left- and right channels. A signal processor 20 performs frequency analysis on the received waves of the left and right channels. An azimuth direction computing unit 26 determines the azimuth direction to the target by a phase monopulse method by using a pair of peaks at which the frequencies are coincident with each other in the left and right channels. A pairing unit 28 pairs the peaks in the rising and falling phase periods of the FMCW method with each other. The pairing unit 28 constitutes a peak pair by selecting the peaks to which the same azimuth direction is given by the azimuth direction computing unit 26 out of many existing peaks. A distance and speed computing unit 30 determines the distance to and speed of the target based on the FMCW method by using the peak pair determined by the pairing unit 28.

[What is claimed is]

1. A radar for automobile characterized by having:

a transmitting unit for transmitting a frequency-modulated transmitting wave having an rising phase period where a frequency increases and a falling phase period where a frequency decreases,

a receiving unit with a plurality of channels for receiving a reflected wave,

an analyzing unit for performing frequency analysis of a received wave of each channel to seek a peak of echo corresponding to a target and a phase information of the echo,

an azimuth direction computing unit for seeking a pair of peaks having a frequency corresponding to each other between the plurality of channels and obtaining an azimuth direction based on a phase difference between the pair of peaks, and

a distance and speed computing unit for seeking a pair of peaks, each peak of the pair is found in rising phase period and falling phase period respectively, based on the azimuth direction obtained by the azimuth direction computing unit and obtaining a relative speed of and relative distance to the target based on a frequency of the pair of peaks.

2. The radar for automobile according to claim 1, characterized by further comprising an integration processing unit for obtaining a tracking information made of an azimuth direction, a relative speed and a relative distance through the azimuth direction computing unit and the distance/speed computing unit, wherein the transmitting unit transmits a directional beam in different directions from each other by switching the direction, and the integration processing unit, when the tracking information of each of the different directional beams matches with each other within a predetermined extent, determines the tracking information of a single target by performing a predetermined averaging process on the plurality of the tracking information.

3. The radar for automobile according to claim 2, wherein the averaging process is performed using a weighted average based on a degree of matching between a direction

of the directional beam and the azimuth direction detected by the azimuth direction computing unit with respect to the directional beam.

[Detailed description of the invention]

[0001]

[Technical field of the invention]

The present invention relates to a tracking radar device for watching a behavior of target using a tracking filter by detecting a relative speed and distance to the target based on a pair of echoes in rising phase period and falling phase period in frequency modulation.

[0002]

[Conventional technology]

A variety of radars have been used for detecting relative positions and/or relative speed between self-vehicle and the target such as a preceding vehicle.

For example, a radar device of FMCW(frequency modulation continuous wave) method for detecting a distance or relative speed to the target, and a radar device of phase monopulse method for detecting a direction of the target based on the data of phase difference of signals received by a plurality of receiving antennas are known.

[0003]

[Phase monopulse radar]

In phase monopulse radar, a radio wave is radiated from a single transmitting antenna and a reflected wave from a target is received by a plurality of receiving antennas. As each of the plurality of antennas is differently positioned in space from each other, a phase of reflected wave received by one antenna is different from that received by another antenna. The direction of the target can be detected by detecting the phase difference. This phase monopulse radar has an advantage that the direction can be detected basically without mechanically moving both transmitting antenna and receiving antenna.

[0004]

With reference to FIG.1, distances R1 and R2 between a target and antenna 1 and antenna 2 respectively are represented as follows, where a distance to the target is R0, a space between two receiving antennas is L and a direction of the target is  $\theta$ .

$$[\text{Expression 1}] \quad R1 = R0 + (L/2) \sin \theta$$

$$R2 = R0 - (L/2) \sin \theta$$

A phase difference  $\Delta\phi$  between received signals (wavelength:  $\lambda$ ) by two receiving antennas is represented as follows.

$$[\text{Expression 2}] \quad \Delta\phi = (L/\lambda) \sin \theta$$

Consequently, a direction of the target  $\theta$  is represented as follows.

$$[\text{Expression 3}] \quad \theta = \sin^{-1} \{ \Delta\phi (\lambda/L) \}$$

Thus, a direction of the target can be obtained from the phase difference of the received signals.

[0005]

[FMCW radar]

FMCW radar is one for detecting a distance to and a speed of a target using continuous wave. A combination use of FMCW radar and phase monopulse radar make it possible to obtain the distance, speed and direction of the target.

[0006]

FMCW radar uses frequency modulated continuous wave as a transmitting signal.

FIG.2 shows the principle of detecting a relative speed and distance by FMCW radar. For example, a transmitting wave is frequency-modulated using a triangular wave, which repeats increase/decrease of frequency of the transmitting wave in turn. When this transmitting wave is radiated from the radar, reflected by the target and received, relationship of frequency between the transmitting wave and the receiving wave is as shown in FIG.2, upper part, assuming that a relative speed to the target is zero. And by detecting (demodulating) the received wave by using a reference wave (the transmitting wave), a beat signal (FIG.2, lower part), having a component of frequency difference between the transmitting wave frequency and received wave frequency, is obtained.

[0007]

Transmission delay time  $\tau$  is a time from transmitting a wave to receiving the wave. When R represents a distance to a target and c represents the speed of light,  $\tau$  is expressed

as  $\tau = 2R/c$ . Further when  $f_m$  represents a repeating frequency of FM (frequency of the triangular wave in FIG.2),  $\Delta f$  represents a deviation width of frequency of FM (variation width of frequency of the reference wave), a beat frequency  $f_r$  is expressed as in the following expression 4.

$$[\text{Expression 4}] \quad f_r = 4R \cdot f_m \cdot \Delta f / c$$

Consequently, the relative distance  $R$  can be determined when the beat frequency  $f_r$  is given based on the beat signal.

[0008]

Relationship of frequency between the transmitting wave and the receiving wave is as shown in FIG. 3, upper part, assuming that the relative speed to the target is non-zero. When the target has some relative speed to the radar, a frequency of the received wave is to be shifted up or down by Doppler frequency  $f_d$ . FIG.3, lower part shows the beat signal. This beat signal has a frequency of  $f_r$  (beat frequency obtained when the relative speed is zero) +  $f_d$  (Doppler frequency) in rising phase period where a frequency of transmitting wave is increasing and the beat signal has a frequency of  $f_r$  (beat frequency obtained when the relative speed is zero) -  $f_d$  (Doppler frequency) in falling phase period where a frequency of transmitting wave is decreasing. Consequently the Doppler shift can be obtained based on the frequency of beat signal in rising phase period and falling phase period, which make it possible to obtain the relative speed of the target.

[0009]

That is, a beat signal frequency  $f_{bu}$  in rising phase period and a beat signal frequency  $f_{bd}$  in falling phase period are expressed as follows.

$$[\text{Expression 5}] \quad f_{bu} = f_r + f_d$$

$$f_{bd} = f_r - f_d$$

The frequencies  $f_{bu}$  and  $f_{bd}$  can be determined based on the beat signals respectively, then the beat frequency  $f_r$  indicating the relative distance and the Doppler frequency  $f_d$  indicating the relative speed can be obtained.

[0010]

[Problem to be solved]

In an ideal situation where only a single target exists, the phase monopulse type radar can accurately detect the direction of target and the FMCW type radar can accurately detect the speed of and distance to the target. Therefore combination use of the both types of radar can accurately determine the direction, distance and speed in such a simple situation.

[0011]

In the situation where Radar Device for Automobile is used, however, a variety of objects (such as a plurality of preceding cars as target and a tree and/or a guard rail other than target) produce an overlapped reflected wave reflected therefrom, which is to be received. As described above, in use of FMCW type, correct distance and speed cannot be detected unless the spectrum of received signal has two separate peaks and they are correctly combined when the target has relative speed. It is difficult to determine a correct combination (pairing) when there are many peaks of received signal spectrum because of reflected waves from a variety of objects. Also in use of phase monopulse type, if the pairing is performed well in the case where each of a plurality of targets has different distance or speed from each other, direction of target can be detected. In the case where there are a plurality of targets which have distance and speed similar to each other, for example, in the case where a plurality of cars run side by side on the road with a plurality of lanes, it is basically difficult to detect the direction. Therefore mere combination use of these two types does not realize detection of accurate direction, distance and speed.

[0012]

The present invention has been conceived based on consideration of the above problem. An object of the present invention is therefore to provide a radar device for automobile which is capable of measuring direction, relative distance and relative speed with high reliance even in the situation where a combination of reflected waves from a plurality of targets and other non-target objects are received by the radar.

[0013]

[Means to solve the problem]

To accomplish the object, first invention is characterized by having; a transmitting unit for transmitting a frequency-modulated transmitting wave having an rising phase period

where a frequency increases and a falling phase period where a frequency decreases, a receiving unit with a plurality of channels for receiving a reflected wave, an analyzing unit for performing frequency analysis of a received wave of each channel to seek a peak of echo corresponding to a target and a phase information of the echo, an azimuth direction computing unit for seeking a pair of peaks having a frequency corresponding to each other between the plurality of channels and obtaining an azimuth direction based on a phase difference between the pair of peaks, and a distance/ speed computing unit for seeking a pair of peaks, each peak of the pair is found in rising phase period and falling phase period respectively, based on the azimuth direction obtained by the azimuth direction computing unit and obtaining a relative speed of and relative distance to the target based on a frequency of the pair of peaks.

[0014]

According to the present invention, a receiving unit with a plurality of channels is prepared to receive a received wave at different positions. Difference in Doppler shift amount caused by the different receiving positions is a little since distance to the target is great compared to the space between the receiving positions. Therefore a position of the peak of reflected wave shown in the received signal spectrum resulting from frequency analysis of received signal, i.e., difference between frequencies in the plurality of channels is little. In other words, with respect to some target, although phases of the received signals are different between the channels, frequency of the peak is basically the same. The direction computing unit seeks a pair of peaks of which frequencies seem to be the same in each of the plurality of channels and determines each of the pair of peaks results from the same target. And a direction of the target causing the pair of peaks is sought from a phase difference between echoes corresponding to each of the pair of peaks. In the case where a relative speed between the target and this radar device is not zero, peak position to the same target in rising phase period is different from that in falling phase period. For example, peaks of a plurality of echoes are shown in both rising phase period and falling phase period because of a plurality of targets, a distance/speed computing unit seeks a pair of peaks, each of which has the same direction obtained by the direction computing unit, in both rising phase period and falling phase period, and determines each peak of the pair of peaks results from the same target. Then relative



speed of and relative distance to the target causing the pair of peaks is obtained from each frequency of the pair of peaks based on FMCW method. In the present invention, first the direction of target is determined based on the phase monopulse method. Then a pair of peaks in rising phase period and falling phase period is determined based on the equality of the direction. Consequently a pair of peaks to be used for processing by FMCW method can correctly be selected even in the situation where a plurality of targets exist, which can provide detection of the direction, relative speed and relative distance with high reliance.

[0015]

To accomplish the object, second invention is characterized by having; an integration processing unit for obtaining a tracking information made of an azimuth direction, a relative speed and a relative distance through the azimuth direction computing unit and the distance/speed computing unit, wherein the transmitting unit transmits a directional beam in different directions from each other by switching the direction, and the integration processing unit, when the tracking information of each of the different directional beams matches with each other within a predetermined extent, determines the tracking information of a single target by performing a predetermined averaging process on the plurality of the tracking information.

[0016]

According to the present invention, the transmitting unit transmits a directional beam while switching a direction of beam. This allows to explore a space of wide target domain by dividing the space. With respect to each directional beam having each specific direction, the phase monopulse computing unit and the distance and speed computing unit do the same processing as in the first invention above, which make it possible to obtain direction, relative speed and relative distance of the target positioned within the beam. Here the direction, the relative speed and relative distance are collectively referred to as tracking information. As the directional beam has generally an overlapped portion, same target can be detected by the plurality of directional beams. The integration processing unit compares each of tracking information and seeks one which is basically recognized to match with each other between the directional beams. And predetermined averaging process is performed on the tracking information recognized to match. As to

the averaging process, a simple average or a average of tracking information weighted according to a predetermined method can be used. As a special example of the weighted averages, one of a plurality of tracking information having the highest reliability can be used. This can improve the accuracy of the tracking information of the target detected by a plurality of beams.

[0017]

In a preferable embodiment of the present invention, the averaging process is performed using a weighted average based on a degree of matching between a direction of the directional beam and the azimuth direction detected by the azimuth direction computing unit with respect to the directional beam. Generally the closer the azimuth direction of the target and the direction of directional beam become, the higher an intensity of the echo becomes, which lowers an error of the tracking information. In this embodiment, weighting is made according to the intensity of echo, a larger weight is given to a value with smaller error, which leads to fair improvement of accuracy of the tracking information.

[0018]

[Embodiment of the invention]

[Embodiment 1]

Preferable embodiment of the invention (hereinafter referred to as "embodiment") is described below with reference to the appended figures.

[0019]

FIG.4 shows a constitution of radar device for automobile of the embodiment of the present invention. The automobile radar device is mounted on a vehicle, and information provided by the device is used for driving control to keep a safe inter-vehicle distance. The device transmits a transmitting wave with FMCW modulation and receives a reflected wave from a target by the left and right channels. The direction of the target is obtained from the waves received by the right and left channels according to the principle of the phase monopulse method. Also the distance to and the speed of the target are obtained from the received waves in rising phase and in falling phase according to the principle of the FMCW method.

[0020]

A voltage-controlled oscillator (VCO) 10 functions as a frequency modulator. A control unit (not shown) feeds the VCO 10 with a triangular wave in which the voltage increases or decreases as time goes. VCO 10 generates a high frequency wave that is frequency-modulated by a triangular wave. This high frequency wave is distributed by a distributor 12 to send one of the distributed waves to a transmitting antenna 14. Thus the high frequency wave that is frequency-modulated by a triangular wave is radiated as waves.

[0021]

The radio wave radiated from the transmitting antenna 14 is reflected by a target. In the figure, two preceding vehicles are shown as targets 1 and 2. reflection signal is received by right and left receiving antennas 16a and 16b. This two receiving antennas 16a and 16b are spatially arranged at a predetermined interval L. Detectors 18a and 18b are connected to these receiving antennas 16a and 16b)

The high-frequency wave (transmission signal) that was frequency-modulated by the triangular wave is supplied from the distributor 12 to these detectors 18a and 18b as reference waves. These detectors 18a and 18b detect the received waves based on the reference waves, which provides a beat signal having a frequency component corresponding to the difference between the transmitting frequency and the received frequency. the beat signal is supplied to a signal processor 20.

[0022]

In the signal processor 20, a frequency analyzing unit 22a, 22b and a peak detecting unit 24a, 24b function as analyzing part of this invention. The frequency analyzing unit 22a, 22b performs frequency analysis to each of beat signals obtained respectively from left-channel received signal and right-channel received signal to obtain a frequency spectrum. Here a complex FFT (fast Fourier transform) is carried out to obtain a complex amplitude (voltage) for each frequency bin with an appropriate frequency interval. Subsequent process in the signal processor 20 uses bin number as an index corresponding to frequency. The peak detecting unit 24a, 24b detects the peaks (frequency bin number which has the peak and a complex amplitude of the frequency bin) respectively with respect to the left and the right channels of phase monopulse based on the result from the frequency analysis.

[0023]

Each of FIGs.5(a) and 5(b) is an example of frequency analysis result of the left-channel and the right-channel. In the left channel, peaks UL1 and DL1 having large amplitude are respectively the peaks of target 1 in rising phase period and falling phase period. Frequency of the peak in falling phase period is higher than that in rising phase period, which indicates target 1 runs relatively slower than self-vehicle (coming close to each other). Peaks UL2 and DL2 having small amplitude are respectively the peaks of target 2 in rising phase period and falling phase period. Frequency of the peak in falling phase period is lower than that in rising phase period, which indicates target 2 runs relatively faster than self-vehicle (getting away from each other). Likewise in the right channel, peaks UR1 and DR1 are respectively the peaks of target 1 in rising phase period and falling phase period. Also peaks UR2 and DR2 are respectively the peaks of target 2 in rising phase period and falling phase period.

[0024]

In the situation where this device is used in this embodiment, however, a variety of objects (such as a plurality of preceding cars as target and a tree and/or a guard rail other than target) produce an overlapped reflected wave reflected therefrom, which is to be received by the radar. Therefore there are actually many peaks other than peaks shown in FIG.5 Peaks in left and right channels of the same target are selected from many peaks mentioned above as follows.

[0025]

In FIG.4, since difference between the positions of the receiving antennas 16a and 16b is small compared to a distance to the target, azimuth direction from each antenna to the target is almost the same as other and relative speed of the target to each antenna is also almost the same. Therefore even if the channel is different, the peak frequency corresponding to the same target is the same or almost the same. In the azimuth direction computing unit 26, peaks having close frequency bin to each other are selected from the left and the right channels respectively, and the selected two peaks make a peak pair. More specifically, peak pair, where the difference between the frequency bins of the left and the right channel is equal to or less than predetermined threshold frequency difference, is selected. Hereinafter, peak A and peak B making a pair is represented as <A, B>. In the example shown in FIG.5, peak pairs <UL1, UR1> and <UL2, UR2> are

Each of FIGs.5(a) and 5(b) is an example of frequency analysis result of the left-channel and the right-channel. In the left channel, peaks UL1 and DL1 having large amplitude are respectively the peaks of target 1 in rising phase period and falling phase period. Frequency of the peak in falling phase period is higher than that in rising phase period, which indicates target 1 runs relatively slower than self-vehicle (coming close to each other). Peaks UL2 and DL2 having small amplitude are respectively the peaks of target 2 in rising phase period and falling phase period. Frequency of the peak in falling phase period is lower than that in rising phase period, which indicates target 2 runs relatively faster than self-vehicle (getting away from each other). Likewise in the right channel, peaks UR1 and DR1 are respectively the peaks of target 1 in rising phase period and falling phase period. Also peaks UR2 and DR2 are respectively the peaks of target 2 in rising phase period and falling phase period.

[0024]

In the situation where this device is used in this embodiment, however, a variety of objects (such as a plurality of preceding cars as target and a tree and/or a guard rail other than target) produce an overlapped reflected wave reflected therefrom, which is to be received by the radar. Therefore there are actually many peaks other than peaks shown in FIG.5 Peaks in left and right channels of the same target are selected from many peaks mentioned above as follows.

[0025]

In FIG.4, since difference between the positions of the receiving antennas 16a and 16b is small compared to a distance to the target, azimuth direction from each antenna to the target is almost the same as other and relative speed of the target to each antenna is also almost the same. Therefore even if the channel is different, the peak frequency corresponding to the same target is the same or almost the same. In the azimuth direction computing unit 26, peaks having close frequency bin to each other are selected from the left and the right channels respectively, and the selected two peaks make a peak pair. More specifically, peak pair, where the difference between the frequency bins of the left and the right channel is equal to or less than predetermined threshold frequency difference, is selected. Hereinafter, peak A and peak B making a pair is represented as <A, B>. In the example shown in FIG.5, peak pairs <UL1, UR1> and <UL2, UR2> are

detected in rising phase period, and  $\langle \text{DL1}, \text{DR1} \rangle$  and  $\langle \text{DL2}, \text{DR2} \rangle$  are detected in falling phase period.

[0026]

The azimuth direction computing unit 26 seeks a phase difference  $\Delta\phi$  between two peaks constituting a pair of peaks based on phase information obtained from a complex FFT processing in the frequency analyzing unit 22a and 22b, and obtains an azimuth direction of the target corresponding to the pair of peaks. That is, as explained using FIG.1, an azimuth angle  $\theta$  is obtained from the following expression, where  $\Delta\phi$  is a phase difference between two received waves received by two receiving antennas 16a and 16b respectively,  $L$  is distance between two receiving antennas and  $\lambda$  is wave length of radio wave.

[0027]

$$\text{[Expression 6]} \quad \theta = \sin^{-1} \{ \Delta\phi (\lambda / L) \}$$

A pairing unit 28 makes one peak in rising phase period (or falling phase period) be paired with another peak in falling phase period (or rising phase period). That is, the pairing unit 28 finds one peak in rising phase period (or falling phase period) and the counterpart in falling phase period (or rising phase period) and determines a pair of peaks used for distance / speed computing.

[0028]

Here the pairing unit 28 seeks a pair of peak pairs where one peak pair is constituted by peaks of left and right channel in rising phase period and the other peak pair is constituted by peaks of left and right channel in falling phase period and each of a pair of peak pairs is recognized to have the same azimuth angle as each other. For example, a pair of peak pair, where difference between azimuth directions in rising phase period and falling phase period is equal to or less than a predetermined threshold value, is selected. Through this process, with respect to an example shown in FIG.5, a pair of peak pair caused by the target 1, i.e.,  $\langle \text{UL1}, \text{UR1} \rangle$  and  $\langle \text{DL1}, \text{DR1} \rangle$  ( or  $\text{UL1}$  and  $\text{DL1}$ , peak  $\text{UR1}$  and  $\text{DR1}$ ), and a pair of peak pair caused by the target 2, i.e.,  $\langle \text{UL2}, \text{UR2} \rangle$  and  $\langle \text{DL2}, \text{DR2} \rangle$  ( or  $\text{UL2}$  and  $\text{DL2}$ , peak  $\text{UR2}$  and  $\text{DR2}$ ), are selected.

[0029]

In this process, it is possible to take an amplitude of the peak into consideration. That is, based on the fact that an intensity of echo from the same target does not change a lot between rising phase period and falling phase period, a pair of peak pair can be obtained by applying the condition that an amplitude difference is equal to or less than a predetermined threshold value in addition to the condition that difference in an azimuth angle  $\theta$  is equal to or less than a predetermined threshold value. Under such condition, even if there are many targets and peaks from a plurality of targets exist within a narrow azimuth angle, it is possible to distinguish each target from each others based on the difference of the amplitude to make a peak in rising phase period and a peak in falling phase period be correctly paired.

[0030]

A distance/speed computing unit 30 determines relative distance to and speed of the target based on the pair of peak pair determined by the pairing unit 28. That is, as explained using FIG.2 and FIG.3, the beat signal consists of a component based on the delay of received wave according to the distance to the target and a component based on the Doppler shift according to the speed of the target. A frequency  $f_{bu}$  of beat signal in rising phase period and a frequency  $f_{bd}$  of beat signal in falling phase period are expressed as

[Expression 7]  $f_{bu} = f_r + f_d$ ;  $f_{bd} = f_r - f_d$ ;

where  $f_r$  is a beat frequency representing a relative distance and  $f_d$  is a Doppler frequency representing a relative speed. Accordingly, the beat frequency  $f_b$  and the Doppler frequency  $f_d$  can be obtained from frequency  $f_{bu}$  and  $f_{bd}$ , which leads to the relative distance and the relative speed. In this embodiment, distance and speed are obtained based on bin number of a pair of peaks being in rising phase period and falling phase period respectively, the pair was determined by the pairing unit 28. The bin number corresponds to the frequency of the peak. Also the distance and the speed are obtained independently based on each of the waves received respectively by left and right channels. Thus highly accurate results of detection can be obtained using both obtaining ways above.

[0031]

As described above, in this embodiment, each azimuth direction of a plurality of the targets is determined first, then pairing of peaks being in rising phase period and falling phase period are performed in reference to the determined azimuth direction. Therefore, it is possible to perform a correct pairing of peaks a plurality of which exist in rising phase period and falling phase period respectively, which leads to highly reliable detection of an azimuth direction, a relative speed and a relative distance.

[0032]

The threshold value for the frequency difference and the threshold value for the determination of matching azimuth direction are predetermined to appropriate values respectively. It is preferable to determine the threshold value for the frequency difference based on degree of variation of peak frequency of reflected wave from the same target. Similarly, it can be made to set the threshold value for the azimuth direction determination based on expected variation of azimuth direction caused by relative movement between the target and the detecting device between rising phase period and falling phase period. Also for example, the both threshold value can be set to a standard degree of variation or a maximum degree of variation. Each of the threshold values can also be set based on an experimental results and/or an experience.

[0033]

[Embodiment 2]

The second embodiment of the present invention is described below. FIG. 6 shows a constitution of radar for automobile of the embodiment of this invention. Components in this embodiment having the counterparts in FIG.4 of constitution of the embodiment 1 have the same symbols and explanation of the components may be appropriately omitted. This embodiment 2 is different from the embodiment 1 in the transmitting unit. This device has a plurality of transmitting antennas; 44-1, 44-2, .....44-n, and switching device 46 for switching a feed of transmitting wave from VCO10 to those antennas 44. A signal processor 50 includes integration (consolidated) processing unit 48 for integrating computation results with each of a plurality of a directional beam transmitted from the plurality of the antennas 44 following the distance/speed computing unit 30.

[0034]



The transmitting wave from VCO10 is sequentially fed into each of the transmitting antennas 44 via the switching device 46 in a time-division manner. Each of transmitting antennas 44 is arranged so as to have different transmitting beam direction from each other, which allows to divide detecting areas to transmit / receive the radio wave with respect to each of the divided areas. Division of the detecting areas can be made by arranging a plurality of receiving antennas 16 of which directional characteristics are different from each other and switching the antennas, or by switching antennas in both transmitting antennas and receiving antennas.

[0035]

Process of received signal from each of detecting areas switched in a time-division manner is made in the same way as above-mentioned embodiment, and obtained beat signal is transferred to the signal processor 50. Steps from the frequency analysis process in the signal processor 50 to the process in the distance/speed computing unit 30 is made in a same fashion as in the embodiment 1. Consequently with respect to each of detecting areas, tracking information of the target in each area (azimuth direction, distance and speed) is detected.

[0036]

As described above, the tracking information of the target obtained for each of detecting areas is input by switching in the integration processing unit 48. Each detecting area by each directional beam is set so as to have overlapped area with adjacent detecting area. Therefore the same target can be detected in a plurality of detecting areas. The integration processing unit 48 can search for the tracking information which matches with each other within a predetermined accuracy by comparing the tracking information of targets in the detecting areas adjacent to each other. When the tracking information which matches with each other are found, it is determined that the tracking information result from the same target.

[0037]

Determination of whether the information matches with each other can be made, for example, based on the fact that the difference in each value of azimuth direction, distance and speed from the tracking information between the adjacent detecting areas is not greater than a predetermined value set for each of the values respectively. Determination

can also be made by using criteria that sum of squares of each of differences in azimuth, distance and speed is not greater than a predetermined threshold value.

[0038]

A plurality of tracking information determined resulting from the same target are integrated into single tracking information by predetermined averaging process. As the averaging process, for example, there is a mere averaging as simple one where all tracking information detected by each beam are used with equal weighting factor. Also there is a weighted averaging where the weighting factor is based on the likelihood of each tracking information detected by each beam. Here degree of matching between a direction of directional beam axis and the azimuth direction detected by azimuth direction computing unit is used as the weighting factor for the weighted averaging. This is because generally the closer the direction is to the axis of the beam, the greater an intensity of the echo becomes, which can reduce the error. From the similar reason, for example, the intensity of beam in the detected azimuth direction can be used as an weighting factor. Also, the integration processing unit 48 can select the tracking information having the highest reliability or the highest accuracy. This is a special case of weighted averaging, which means that the weighting factor of the highest reliability tracking information is assumed one and the weighting factor of all other tracking information is assumed zero.

[0039]

According to this device, even in the case where there are a plurality of targets each of which is similar to each other in the distance and speed. those targets can be separately detected by using different beams by dividing areas where the radio wave is transmitted and received. Also when the same target is detected by a plurality of beams, tracking information with high accuracy can be obtained by integrating a plurality of the obtained tracking information by applying an appropriate averaging process thereto.

[0040]

[Embodiment 3]

The third embodiment of the present invention is described below. FIG. 7 shows a constitution of radar for automobile of the embodiment of this invention. Components in this embodiment having the counterparts in FIG.4 and FIG.6 of constitutions of the

embodiments 1 and 2 use the same symbols and explanation of the components may be appropriately omitted. This embodiment 3 is different from the embodiment 1 in that a signal processor 70 has a tracking filter processing unit 72. The tracking filter processing unit 72 is installed between the distance/speed computing unit 30 and the integration processing unit 48.

[0041]

This device has a plurality of antennas 44, as the embodiment 2 has, and measures each of detecting areas in a time-division manner to seek tracking information of the target existing in each of the areas. In other words, this device has the same steps/processes up to the distance/speed computing unit 30 as the device of embodiment 2 has.

[0042]

In this device, the tracking filter processing unit 72 performs tracking filter processing on the tracking information obtained by the distance/speed computing unit 30. The tracking filter processing performed by the tracking filter processing unit 72 is a prediction filter process such as Kalman filters process or  $\alpha$ - $\beta$  filter process performed on the azimuth direction, distance and speed which are obtained by the steps up to the distance/speed computing unit 30. True azimuth direction, distance and speed of the target can be estimated through the prediction filter process based on the tracking information in the past. This makes it possible to avoid an unfavorable influence brought by an undetectable state or a false detection caused by an existence of a plurality of targets and/or other objects such as trees and/or guard rails.

[0043]

In the integration processing unit 48, for example, when each of the estimated values of the target tracking information obtained from a plurality of divided areas matches with each other within a predetermined difference, it is determined that those estimated values of the target tracking information result from the same target. Also in the integration processing unit 48, for example, when the histories of estimated values of the tracking information up to the present time are obtained for each of divided areas of beam, and the gap between the histories is found not greater than a predetermined value, it can be determined that those histories result from the same target.

[0044]

As described above, the integration processing unit 48 determines identity of target based on the estimated value or estimated value history and integrates each of estimated values of the tracking information of the same target obtained for a plurality of areas into single tracking information through the averaging process in the same manner as in the embodiment 2.

[0045]

In this device, as described above, a prediction filter process is performed on the tracking information obtained using the FMCW method and the phase monopulse method, and further the process for integrating each of the tracking information obtained by switching beams for a plurality of areas is performed, which makes it possible to distinguish a plurality of targets which have almost the same distance and the same speed at the time or the time period based on the time-line of the tracking information. Also in the real situation where there are a plurality of targets and objects other than target such as trees and/or guard rails, detection of distance, speed and azimuth direction can be performed with high reliability.

[0046]

In this device, the tracking filter processing unit 72 is installed before the integration processing unit 48, but the tracking filter processing unit 72 can also be installed behind the integration processing unit 48.

[0047]

The tracking filter processing unit 72 can be used regardless of division of detecting areas by beam, for example, can be used for the device of embodiment 1.

[Brief description of the drawings]

FIG.1 shows a principle of phase monopulse radar.

FIG.2 shows a principle of FMCW radar.

FIG.3 shows a principle of FMCW radar.

FIG.4 shows a constitution of embodiment 1 of the present invention.

FIG.5 shows results of frequency analysis of received signals by the left channel and the right channel of the device in FIG.4.

FIG.6 shows a constitution of embodiment 2 of the present invention.

FIG.7 shows a constitution of embodiment 3 of the present invention.

[Symbols]

10 : voltage-controlled oscillator (VCO)

14, 44-1, 44-2, 44-n : transmitting antennas

16a, 16b : receiving antennas

18a, 18b : detectors

20, 50, 70 : signal processor

22a, 22b : frequency analysis unit

24a, 24b : peak detecting unit

26 : azimuth direction computing unit

28 : pairing unit

30 : distance/speed computing unit

48 : integration processing unit

72 : tracking filter processing unit

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-271430

(43) 公開日 平成11年(1999)10月8日

(51) Int.Cl.*	識別記号	F I
G 0 1 S	13/34	G 0 1 S 13/34
	13/44	13/44
	13/50	13/50 A
	13/72	13/72
	13/93	13/93 Z
審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)		

(21) 出願番号 特願平10-77965

(22) 出願日 平成10年(1998)3月25日

(71) 出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1

(72) 発明者 浅野 孔一

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 大島 繁樹

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 吉田 研二 (外2名)

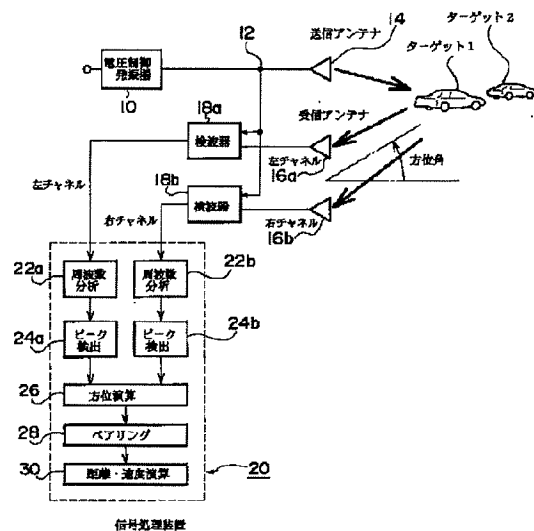
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自動車レーダ装置

(57) 【要約】

【課題】 自動車レーダ装置において、複数のターゲット等が存在する環境下での計測精度、信頼性を向上させる。

【解決手段】 ターゲットからの反射波は左右2チャンネルの受信アンテナ16a、16bで受信される。信号処理装置20は、各チャンネルの受信波の周波数分析を行う。方位演算部26は、左右チャンネルで周波数が一致するピークのペアを用いて位相モノパルス方式により方位を決定する。ペアリング部28は、FMCW方式の上りフェーズ期間におけるピークと下りフェーズ期間におけるピークとのペアリングを行う。ペアリング部28は、多数存在するピークのうち、方位演算部26にて同じ方位を与えられたピークを選択して、ピークペアを構成する。距離・速度演算部30は、ペアリング部28により決定されたピークペアを用いてFMCW方式に基づいてターゲットの距離及び速度を決定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 周波数が増加する上りフェーズ期間と周波数が低下する下りフェーズ期間とを有した FM 変調された送信波を送信する送信部と、

反射波を受信する複数チャネルの受信部と、

各チャネルの受信波の周波数分析を行い、ターゲットに対応したエコーのピークと当該エコーの位相情報とを求める分析部と、

前記複数チャネル間で周波数が互に対応したピークの組を求め、当該組をなすピーク間の位相差に基づいて方位を求める方位演算部と、

前記方位演算部で求められた方位に基づいて、前記上りフェーズ期間と前記下りフェーズ期間とで対をなすピークを求め、当該対をなすピークの周波数に基づいて前記ターゲットの相対速度及び相対距離を求める距離・速度演算部と、

を有することを特徴とする自動車レーダ装置。

【請求項 2】 方位、相対速度及び相対距離からなる追尾情報を前記方位演算部と前記距離・速度演算部とから得る統合処理部を有し、

前記送信部は、互いに異なる方向へ指向性ビームを切り替えて送信し、

前記統合処理部は、前記異なる指向性ビームそれぞれに対する前記追尾情報が所定範囲内で一致した場合に、当該複数の追尾情報に対して所定の平均処理を行って一のターゲットの追尾情報を決定すること、

を特徴とする請求項 1 記載の自動車レーダ装置。

【請求項 3】 前記平均処理は、前記指向性ビームの方向と当該ビームに対して前記位相モノパルス演算部にて検出された前記方位との一致度に基づいた重み付け平均であること、

を特徴とする請求項 2 記載の自動車レーダ装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、FM 変調における上りフェーズ期間と下りフェーズ期間のエコーのペアからターゲットとの相対速度及び相対距離を検出し、追尾フィルタによってターゲットの挙動を監視する追尾レーダ装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来より、自動車では、例えば先行車両といったターゲットの自車に対する位置や速度を検出するために各種レーダが利用されている。例えば、ターゲットまでの距離及びそれとの相対速度を検出する FMCW (周波数変調連続波) 方式のレーダ装置や、複数の受信アンテナからの信号の位相差に基づいてターゲットの方位を検出する位相モノパルス方式のレーダ装置が知られている。

【0003】【位相モノパルスレーダ】位相モノパルスレーダは、一つの送信アンテナから電波を放射すること

で得られるターゲットからの反射波を複数の受信アンテナで受信する。複数の受信アンテナは空間的に位置が異なるので、同一のターゲットからの反射波の位相が受信アンテナ間で異なる。この位相ずれを検出することでターゲットの方位を検出することができる。この位相モノパルスレーダは、方位検出のために基本的に送信アンテナ及び受信アンテナを機械的に動かす必要がないというメリットがある。

【0004】図 1 を参照すると、ターゲットまでの距離を  $R_0$ 、二つの受信アンテナの間隔を  $L$ 、ターゲットの方位を  $\theta$  とする。アンテナ 1 およびアンテナ 2 からターゲットまでの距離  $R_1$ 、 $R_2$  は、

## 【数 1】

$$R_1 = R_0 + (L/2) \sin \theta$$

$$R_2 = R_0 - (L/2) \sin \theta$$

である。二つの受信アンテナの受信信号 (波長:  $\lambda$ ) の位相差  $\Delta \phi$  は、

$$\Delta \phi = (L/\lambda) \sin \theta$$

であり、従って、ターゲットの方位  $\theta$  は、

$$\theta = \sin^{-1} \{ \Delta \phi (\lambda/L) \}$$

である。このようにして、受信信号の位相差からターゲットの方位を求めることができる。

【0005】【FMCWレーダ】FMCWレーダは、連続波を用いてターゲットの距離および速度を検出するものである。FMCWレーダと位相モノパルスレーダを組み合わせれば、ターゲットの距離、速度および方位を求めることができる。

【0006】FMCWレーダは、連続波の送信信号に FM 変調を施している。図 2 は、FMCWレーダによる相対距離及び相対速度検出の原理を示すものである。例えば、送信波を三角波で周波数変調する。これによって、送信波の周波数は増加減少を順次繰り返す。この送信波がレーダから放射され、ターゲットで反射して受信されると、送信波と受信波の周波数は、図 2 (上) に示すような関係をもつ。ただし、ターゲットの相対速度が 0 の場合である。そして、参照波 (送信波) で受信波を検波することにより、送信周波数と受信周波数の差の周波数成分を持つビート信号 (図 2 (下)) が得られる。

【0007】伝搬遅延時間  $\tau$  は、送信波が受信されるまでの時間である。ターゲットまでの相対距離を  $R$ 、光速を  $c$  とすると  $\tau = 2R/c$  である。さらに、FM の繰り返し周波数 (図 2 における三角波の周波数) を  $f_m$ 、FM の周波数偏移幅 (参照波の周波数の変化幅) を  $\Delta f$  とすると、ビート周波数  $f_r$  は、

$$f_r = 4R \cdot f_m \cdot \Delta f / c$$

で表される。従って、ビート信号からビート周波数  $f_r$  を求めれば、相対距離  $R$  が決定される。

【0008】図 3 (上) は、ターゲットの相対速度が 0 でない場合における、送信波と受信波の周波数の関係を示している。ターゲットがレーダに対して相対速度を有

すると、ドップラ周波数  $f_d$  だけ受信波の周波数が上または下にシフトする。図3(下)にはビート信号が示されている。このビート信号は、送信波の周波数が増加している上りフェーズ期間においては、相対速度0のターゲットのビート周波数  $f_r$  にドップラ周波数  $f_d$  だけ加算されたものになる。一方、送信波の周波数が減少している下りフェーズ期間においては、ビート周波数  $f_r$  からドップラ周波数  $f_d$  だけ減算されたものがビート信号になる。従って、このビート信号の上りフェーズ期間及び下りフェーズ期間の周波数からドップラシフトが求められ、これからターゲットの相対速度が求められる。

【0009】すなわち、上りフェーズ期間及び下りフェーズ期間におけるビート信号の周波数  $f_{bu}$ 、 $f_{bd}$  は、

$$\text{【数5】 } f_{bu} = f_r + f_d$$

$$f_{bd} = f_r - f_d$$

である。そこで、ビート信号から周波数  $f_{bu}$ 、 $f_{bd}$  を個別に求めれば、相対距離を表すビート周波数  $f_r$ 、相対速度を表すドップラ周波数  $f_d$  が求められる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】単一のターゲットだけが存在するような極めて理想的な環境では、上記位相モノパルス方式のレーダ装置は、ターゲットの方位を正確に検出することができ、また上記FMCW方式のレーダ装置は、ターゲットの距離及び速度を正確に検出することができる。よって、そのような単純な環境では、両方式を組み合わせる用いることにより、方位、距離及び速度を正確に決定することができる。

【0011】しかしながら、自動車レーダ装置が使用される環境では、様々な物体(例えばターゲットたる複数の先行車両、その他ターゲット以外の樹木やガードレール等)からの反射波が重なり合って受信される。FMCW方式では上述したように、相対速度を有するターゲットに対しては、受信信号スペクトルのピークが2つに分かれ、それらを正しく組み合わせない限り、正しい距離、速度を検出することができない。このような組み合わせ(ペアリング)を正しく決定することは、様々な物体からの反射波により受信信号スペクトルのピークが多数存在する環境下では困難である。また位相モノパルス方式においても、複数のターゲットの距離あるいは速度が異なる場合に上記ペアリングが良好に実施できればターゲットの方位を検出できるが、距離と速度がほぼ同じような複数のターゲットが存在する場合、例えば複数車線の道路で複数の車両が併走状態で走行している場合には基本的に方位の検出が困難である。従って、これら両方式を単に組み合わせる方位、距離及び速度を正確に決定することも困難となる。

【0012】本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、複数のターゲットやターゲット以外の物体などの反射波が合成されて受信されるレーダ使用

環境でも信頼性の高い方位、相対距離及び相対速度の計測が可能な自動車レーダ装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、第1の発明は、周波数が増加する上りフェーズ期間と周波数が低下する下りフェーズ期間とを有したFM変調された送信波を送信する送信部と、反射波を受信する複数チャンネルの受信部と、各チャンネルの受信波の周波数分析を行い、ターゲットに対応したエコーのピークと当該エコーの位相情報とを求める分析部と、前記複数チャンネル間で周波数が互に対応したピークの組を求め、当該組をなすピーク間の位相差に基づいて方位を求める方位演算部と、前記方位演算部で求められた方位に基づいて前記上りフェーズ期間と前記下りフェーズ期間とで対をなすピークを求め、当該対をなすピークの周波数に基づいて前記ターゲットの相対速度及び相対距離を求める距離・速度演算部とを有することを特徴とする。

【0014】本発明によれば、位相モノパルス方式による方位検出を行うため、複数チャンネルの受信部が設けられ異なる位置における受信波が受信される。受信位置が異なることによるドップラシフト量の違いは、受信位置間隔に比してターゲットの距離が大きいのでわずかである。よって、受信信号を周波数分析して得られる受信信号スペクトルに現れる反射波のピークの位置、すなわち周波数は、複数のチャンネル間でほとんど差がない。つまり、あるターゲットに対し、複数チャンネル間では受信信号の位相は異なっても、それに対応するピークの周波数は基本的に同一とみなすことができる。方位演算部は、基本的に複数チャンネルそれぞれで同一とみなすことができる周波数を有するピークの組を求め、その組に属する各ピークは互いに同一のターゲットに起因するものであると判断する。そして、その組に属するピークに対応する各エコー間の位相差から、位相モノパルス方式に基づいて、当該ピークの組を生じたターゲットの方位を求める。さて、ターゲットが本装置に対して相対速度を有する場合は、上りフェーズ期間と下りフェーズ期間とで同一のターゲットに対するピークの位置は異なる。例えば複数のターゲットが存在するため、上りフェーズ期間と下りフェーズ期間とでそれぞれ複数のエコーのピークが生じる場合に、距離・速度演算部は、上りフェーズ期間と下りフェーズ期間とで方位演算部で求めた方位が一致するピークの対を見出し、その対をなすピークは互いに同一のターゲットに起因するものであると判断する。そして、その対をなすピークの各周波数から、FMCW方式に基づいて、当該ピークの対を生じたターゲットの相対速度及び相対距離を求める。本発明では、まず位相モノパルス方式に基づいてターゲットの方位を定め、その方位が等しいことに基づいて上りフェーズ期間と下りフェーズ期間とのピークの対を決定するので、複数のターゲットが存在する状況下においてもFMCW方式の処理



に用いるピークの組を正しく選定でき、信頼性の高い方位、相対速度及び相対距離の検出ができる。

【0015】上記目的を達成するために、第2の発明は、方位、相対速度及び相対距離からなる追尾情報を前記方位演算部と前記距離・速度演算部とから得る統合処理部を有し、前記送信部は互いに異なる方向へ指向性ビームを切り替えて送信し、前記統合処理部は、前記異なる指向性ビームそれぞれに対する前記追尾情報が所定範囲内で一致した場合に、当該複数の追尾情報に対して所定の平均処理を行って一のターゲットの追尾情報を決定することを特徴とする。

【0016】本発明によれば、送信部は、ビーム方向を切り替えて指向性ビームを送信する。これにより、広い対象領域の空間を分割して探査することができる。各方向の指向性ビームに対して、位相モノパルス演算部及び距離・速度演算部はそれぞれ上記第1の発明と同様の処理を行う。これにより各ビームの範囲内に位置するターゲットの方位、相対速度及び相対距離が求められる。ここでは、これら方位、相対速度及び相対距離を追尾情報として一括して称することとする。指向性ビームは一般にオーバーラップする部分を有するので、同一のターゲットが複数の指向性ビームで検出されることがある。統合処理部は、各指向性ビームで求めた追尾情報を比較し、それらのうち指向性ビーム間で基本的に一致するとみなすことができるものを採る。そして、一致するとみなすことができる追尾情報に対しては、所定の平均処理を行う。平均処理としては、例えば単純平均や、所定の方法に基づいて各追尾情報を重み付けした平均がある。また、重み付け平均の特殊な場合として、複数の追尾情報のうち最も精度の高いものを選択するという方法もある。これにより、複数のビームで検出されたターゲットの追尾情報の精度を向上させることができる。

【0017】本発明の好適な態様は、前記平均処理が、前記指向性ビームの方向と当該ビームに対して前記方位演算部にて検出された前記方位との一致度に基づいた重み付け平均であるものである。一般に、ターゲットの方位が指向性ビームの方向と近いほど、エコーの強度は高く、それに基づく追尾情報の誤差は低くなる。よって、本態様によれば、エコー強度に応じた重み付けが行われ、誤差の小さい値に大きな重み付けがなされるので、追尾情報の精度が良好に向上する。

【0018】

【発明の実施の形態】【実施の形態1】以下、本発明の好適な実施の形態（以下、実施形態という）について、図面を参照し説明する。

【0019】図4は、本発明の実施形態の自動車レーダ装置の構成を示している。この自動車レーダ装置は車両に搭載され、それが提供する情報は、先行車等との安全な車間距離を確保する走行制御等に用いられる。本装置は、FMCW変調された送信波を送信し、ターゲットか

らの反射波を左右のチャンネルで受信する。そして、位相モノパルス方式の原理に従い、左右のチャンネルの受信波からターゲットの方位を求める。また、FMCW方式の原理に従い、上りフェーズと下りフェーズの受信波からターゲットの距離と速度を求める。

【0020】電圧制御発振器（VCO）10は周波数変調器として機能する。このVCO10には、図示しない制御部より、電圧が時間に応じて増減する三角波が供給される。VCO10は、この三角波で周波数変調された高周波を発生する。この高周波は、分配器12で分配され、その一つが送信アンテナ14に送られる。このようにして、三角波で周波数変調された高周波が、電波として外部に向けて放射される。

【0021】送信アンテナ14から放射された電波はターゲットで反射する。図中には2つの先行車両が、ターゲット1、2として示されている。反射信号は、左右2つの受信アンテナ16a、16bで受信される。この2つの受信アンテナ16a、16bは、空間的に所定距離Lだけ離れて配置されている。そして、この受信アンテナ16a、16bには、検波器18a、18bがそれぞれ接続されている。検波器18a、18bには、分配器12から、三角波で周波数変調された高周波（送信信号）が参照波として供給されている。検波器18a、18bは、受信波を参照波に基づいて検波し、これにより送信周波数と受信周波数の差の周波数成分をもつビート信号が得られ、信号処理装置20に供給される。

【0022】信号処理装置20において、周波数分析部22a、22bおよびピーク検出部24a、24bは、本発明の分析部として機能する。周波数分析部22a、22bは、それぞれ、左チャンネルおよび右チャンネルの受信信号から得られたビート信号に対して周波数分析を行い、信号の周波数スペクトルを得る。ここでは、複素FFT（高速フーリエ変換）が行われ、適当な周波数間隔（周波数bin）ごとの複素振幅（電圧）が求められる。以降の信号処理装置20における処理においては、binの番号が周波数に対応するインデックスとして用いられる。ピーク検出部24a、24bは、周波数分析結果に基づき、位相モノパルスの左、右チャンネルのそれぞれでピーク（ピークが現れる周波数binの番号およびその周波数binの複素振幅値）を検出する。

【0023】図5（a）（b）は、それぞれ左チャンネルおよび右チャンネルの周波数分析結果の例である。左チャンネルにおいて、大きい振幅をもつピークUL1、DL1は、それぞれターゲット1の上りフェーズおよび下りフェーズのピークである。下りフェーズのピークの周波数が上りフェーズより大きいのは、ターゲット1が自車よりも相対的に遅い（近づいている）ことを示している。また、小さい振幅をもつピークUL2、DL2は、それぞれターゲット2の上りフェーズおよび下りフェーズのピークである。下りフェーズのピークの周波数が上りフ

フェーズより小さいのは、ターゲット2が自車よりも相対的に速い（遠ざかっている）ことを示している。同様に、右チャンネルでは、ピークUR1、DR1は、それぞれターゲット1の上りフェーズおよび下りフェーズのピークである。また、ピークUR2、DR2は、それぞれターゲット2の上りフェーズおよび下りフェーズのピークである。

【0024】ただし、本実施形態では本装置が使用される道路等の使用環境では、複数のターゲット（先行車）が存在し、さらに、ターゲット以外の樹木やガードレールなどの物体が存在する。レーダには様々な物体の反射波が合成されて受信される。従って、実際には、図5に示すピークの他にもさらに多数のピークが存在している。このような多数のピークから、以下のようにして同一ターゲットの左右チャンネルのピークが選ばれる。

【0025】図4に戻り、受信アンテナ16a、16bの位置の違いは、ターゲットまでの距離に比べて小さいので、各受信アンテナからターゲットを臨む方位はほとんど同じであり、ターゲットの各受信アンテナに対する相対速度もほとんど同じである。よってチャンネルが異なっても、同一ターゲットに対応するピークの周波数は、同一か極めて近い。そこで、方位演算部26では、近い周波数binをもつピークが左、右チャンネルから選ばれ、選ばれた2つのピークはピークペアとされる。ここでは、左、右チャンネル間の周波数binの差が所定しきい周波数差以下のピークペアが選択される。ここで、ピークAとBとがペアをなすことを〈A、B〉と表すこととすると、図5に示す例に対しては、上りフェーズ期間においてはピークペア〈UL1、UR1〉、〈UL2、UR2〉が検出され、下りフェーズ期間に対しては〈DL1、DR1〉、〈DL2、DR2〉が検出される。

【0026】方位演算部26は、周波数分析部22a、22bでの複素FFT処理において得られる位相情報を元に、各ピークペアを構成する各ピーク間の位相差 $\Delta\phi$ を求め、当該ピークペアに対応するターゲットの方位 $\theta$ を求める。すなわち図1を用いて説明したように、2つの受信アンテナ16a、16bでの受信波の位相差を $\Delta\phi$ 、2つの受信アンテナの距離をL、電波の波長を $\lambda$ とすれば、方位角 $\theta$ は次式で求められる。

【0027】

$$\text{【数6】 } \theta = \sin^{-1} \{ \Delta\phi (\lambda / L) \}$$

ペアリング部28は、上りフェーズ期間と下りフェーズ期間とのピークのペアリングを行う。すなわち、ペアリング部28は、上りフェーズ期間において得られるピークと、下りフェーズ期間において得られるピークとを対応付け、距離・速度演算に用いるピークの対を決定する。

【0028】ここでは、ペアリング部28は、上りフェーズ期間について得られる左、右チャンネルのピークペア

と、下りフェーズ期間について得られる左、右チャンネルのピークペアとで互いに方位角 $\theta$ が同一とみなすことができるものの対を求める。例えば、上り、下りフェーズ期間での方位の差が所定閾値以下となるピーク（ペア）が選択される。この処理により、図5に示す例に対しては、ターゲット1により生じるピークペア〈UL1、UR1〉と〈DL1、DR1〉（又はUL1とDL1、若しくはピークUR1とDR1）、及びターゲット2により生じるピークペア〈UL2、UR2〉と〈DL2、DR2〉（又はUL2とDL2、若しくはピークUR2とDR2）が選択される。

【0029】なお、この処理において、ピークの振幅を考慮に入れることも可能である。すなわち、同一のターゲットからのエコーの強度は、上りフェーズ期間と下りフェーズ期間とで大きく異なるということに基づいて、方位角 $\theta$ の差が所定閾値以下であるという条件とともに、振幅の差も所定閾値以下であるという条件を課して、ここでのピークの対を求めることとしてもよい。そのような構成によれば、多数のターゲットが存在して、狭い方位角範囲内に複数のターゲットからのピークが含まれる場合であっても、それらの振幅の違いによってターゲットの弁別を行い、正しく上り、下り各フェーズ期間のピークを組み合わせることができる。

【0030】距離・速度演算部30は、ペアリング部28にて決定されたピークの対に基づいて、ターゲットの相対距離、相対速度を求める。すなわち、図2、図3を用いて説明したように、ビート信号は、ターゲットの距離に応じた受信波の遅延に基づく成分と、ターゲットの速度に応じたドップラシフトに基づく成分からなっている。上りフェーズ期間及び下りフェーズ期間におけるビート信号の周波数fbu、fbdは、相対距離を表すビート周波数をfr、相対速度を表すドップラ周波数をfdとすると、

$$\text{【数7】 } f_{bu} = f_r + f_d$$

$$f_{bd} = f_r - f_d$$

である。従って、周波数fbu、fbdから、ビート周波数frおよびドップラ周波数fdが求められ、相対距離および相対速度が求められる。本実施形態では、ペアリング部28で決定されたペアの上り、下りフェーズの対応するピークのbin番号に基づいて、距離および速度を求める。このbin番号はそのピークのもつ周波数に対応している。また、左右チャンネルのそれぞれの受信波に基づいて独立して距離および速度を求めることができ、両検出値を用いてより精度の高い検出結果が得られる。

【0031】以上、本実施形態のレーダ装置について説明した。上記のように、本実施形態では、複数存在するターゲットの方位を先に求め、その方位を参照して上りフェーズ期間と下りフェーズ期間とのピークのペアリングを行う。よって、上り、下りフェーズ期間にそれぞれ

複数存在するピークを正しくペアリングすることができ、信頼性の高い方位、相対速度及び相対距離の検出が可能になる。

【0032】なお、本実施形態の周波数差の閾値及び方位が一致とみなされる判定の閾値は、それぞれ予め適当な値に決められている。周波数差の閾値は、同一ターゲットの反射波から得られるピークの周波数のばらつきの大きさに基づいて設定することが好適である。同様に、方位判定の閾値は、上りフェーズ期間と下りフェーズ期間との間にターゲットと装置との相対運動により変わらう方位角の大きさを想定して定めることができる。また例えば、両閾値を、ばらつきの標準的な大きさに設定したり、ばらつきの最大値に設定することができる。各閾値は、実験結果や経験に基づいて設定してもよい。

【0033】〔実施の形態2〕次に、本発明の第2の実施形態を説明する。図6は、本発明の実施形態の自動車レーダ装置の構成を示している。本実施形態の構成要素のうち、図4に示した実施形態1の構成要素と同様のものについては同一の符号を付し、その説明は適宜省略する。実施形態2は、まず送信部が実施形態1と異なる。すなわち、本装置は、複数の送信アンテナ44-1、44-2、…、44-nを有し、VCO10からこれら送信アンテナ44への送信波の供給を時分割で切り替える切替器46を有している。また、信号処理装置50は、これら複数の送信アンテナ44から送信された複数の指向性ビームそれぞれに対する演算結果を最後にまとめる統合処理部48を距離・速度演算部30の次に有している。

【0034】VCO10からの送信波は切替器46を介して、送信アンテナ44のそれぞれに時分割で順次供給される。各送信アンテナ44はそれらの送信ビームの向きが異なるように構成され、これにより検出領域を分割して、それぞれの領域ごとに電波を送受することができる。なお、同様の検出領域の分割は、例えば、異なる指向性を有した受信アンテナ16を複数配置してそれらを切り替える構成や、送受両方で切り替える構成によっても実現することができる。

【0035】時分割で切り替えられた各検出領域に対する受信信号の処理は上記実施形態と同様であり、得られたビート信号は信号処理装置50に渡される。信号処理装置50における周波数分析処理から距離・速度演算部30での処理までは実施形態1と同様である。よって、各検出領域ごとにその領域内のターゲットの追尾情報（方位、距離及び速度）が検出される。

【0036】統合処理部48へは、このように切り替えによってそれぞれの検出領域にて得られたターゲットの追尾情報が入力される。各指向性ビームの検出領域は、隣接するもの同士がオーバーラップするように構成される。そのため、同一のターゲットが複数の検出領域で検出されることがある。統合処理部48は、ターゲットの追尾情報を隣接する検出領域間で比較して、所定の精度

で互いに一致する追尾情報を探索する。一致するものが見つかった場合、それら追尾情報が同一のターゲットに対応するものであると判断する。

【0037】この一致の判断は、例えば、追尾情報を構成する方位、距離及び速度の各値の隣接検出領域間での差がそれぞれ所定の許容範囲以下であることに基づいて行うことができる。また、方位、距離及び速度の各差の二乗和が所定閾値以下となるといった判断基準を用いることもできる。

【0038】同一のターゲットに対応すると判断された複数の追尾情報は、所定の平均処理により、一つの追尾情報に統合される。この所定の平均処理としては、例えば、簡単には、それぞれのビームで検出された追尾情報を等しい重みで平均する単純平均がある。また、他の方法としては、それぞれのビームで検出された追尾情報それぞれの確からしさなどに基づいた重み付けを行った平均（重み付け平均）がある。ここでは、指向性ビームの軸の方向と方位演算部にて検出された方位との一致の程度を重み係数とした重み付け平均を行う。これは、一般に方位がビームの軸に近いほど、エコー強度が大きくなり、誤差が小さくなるからである。なお、同様の理由から重み係数として、例えば検出された方位におけるビームの強度を用いることも可能である。また、統合処理部48は、それぞれのビームで検出された追尾情報のうち最も確度又は精度が高いものを選択してもよい。これは、重み付け平均の特殊な場合であり、最も確度若しくは精度の高い追尾情報の重み係数を1とし、他の追尾情報の重み係数を0とした場合に相当する。

【0039】本装置によれば、距離と速度が似通った複数のターゲットが存在する場合であっても電波を送受する領域を分割することにより、それら複数のターゲットを異なるビームで分離して検出することができる。また複数のビームで同一のターゲットが検出された場合には、得られた複数の追尾情報を何らかの形で平均して統合することにより、精度のよい追尾情報を得ることができる。

【0040】〔実施の形態3〕次に、本発明の第3の実施形態を説明する。図7は、本発明の実施形態の自動車レーダ装置の構成を示している。本実施形態の構成要素のうち、図4、図6に示した実施形態1及び実施形態2の構成要素と同様のものについては同一の符号を付し、その説明は適宜省略する。実施形態3が構成上、実施形態1と異なる点は、信号処理装置70が追尾フィルタ処理部72を有する点である。追尾フィルタ処理部72は、距離・速度演算部30と統合処理部48との間に設けられる。

【0041】本装置も実施形態2同様、複数の送信アンテナ44を有し、時分割で各検出領域の測定を行い、各領域に存在するターゲットの追尾情報を求める。つまり、本装置と実施形態2の装置とは距離・速度演算部3

0までの動作、処理は同じである。

【0042】本装置では、追尾フィルタ処理部72が、距離・速度演算部30で得られた各領域の追尾情報に対して、追尾フィルタ処理を行う。追尾フィルタ処理部72が行う追尾フィルタ処理は、距離・速度演算部30までに得られた方位、距離及び速度に対して行う、カルマンフィルタ処理や $\alpha-\beta$ フィルタ処理といった予測フィルタ処理である。この予測フィルタ処理により、過去の追尾情報に基づいて、ターゲットの真の方位、距離及び速度が推定される。これにより、複数のターゲットやターゲット以外の例えば樹木やガードレールなどの物体が存在することによって生じる誤検出状態や、不検出状態による好ましくない影響を回避することが可能となる。

【0043】統合処理部48は、例えば、複数の分割領域で得られたターゲットの追尾情報の推定値が所定の差以下で一致する場合に、それら追尾情報の推定値が同一ターゲットに対応すると判断する。また、統合処理部48は例えば、追尾情報の推定値の過去から現在までの軌跡を、ビームの各分割領域ごとに求め、それら領域間で軌跡の隔たりが所定値以下である場合にそれら軌跡に対応するターゲットは同一であると判断することも可能である。

【0044】統合処理部48はこのように推定値、又は推定値の軌跡に基づいて、ターゲットの同一を判断し、同一ターゲットについて複数領域に関して得られた追尾情報の各推定値を、実施形態2と同様の方法により平均して一つの追尾情報に統合する。

【0045】このように本装置では、FMCW方式及び位相モノパルス方式により得られる追尾情報に対して、予測フィルタ処理を行うこと、さらにビーム切替により複数領域で得られた各追尾情報を統合する処理を行うことにより、ある時刻または期間において距離と速度がほぼ同じとなる複数のターゲットを、追尾情報の時系列に\*

\*基づいて弁別することができる。また、複数ターゲットやターゲット以外の例えば樹木やガードレールなどの物体が存在するような実際の使用環境下において、確度の高い距離、速度及び方位の検出を行うことができる。

【0046】なお、本装置では、追尾フィルタ処理部72は統合処理部48の前に設けたが、追尾フィルタ処理部72を統合処理部48の後ろに設ける構成も可能である。

【0047】ちなみに、追尾フィルタ処理部72は、ビームによる検出領域の分割とは無関係に採用することができ、例えば実施形態1の装置においても用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 位相モノパルスレーダの原理を示す図である。

【図2】 FMCWレーダの原理を示す図である。

【図3】 FMCWレーダの原理を示す図である。

【図4】 本発明の第1の実施形態の構成を示す図である。

【図5】 図4の装置の左チャネルおよび右チャネルの受信信号の周波数分析結果を示す図である。

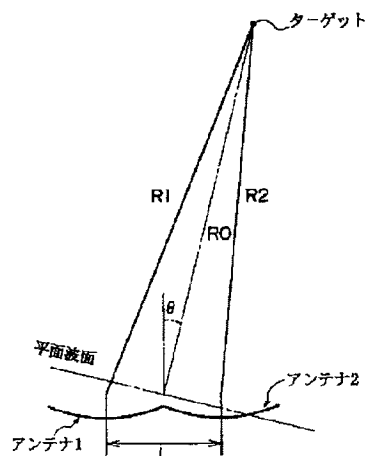
【図6】 本発明の第2の実施形態の構成を示す図である。

【図7】 本発明の第3の実施形態の構成を示す図である。

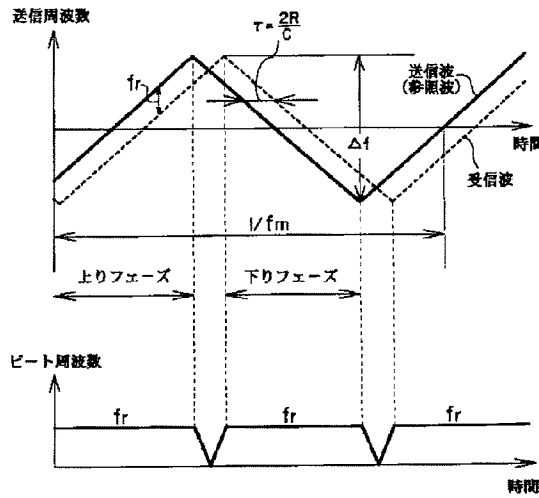
【符号の説明】

10 電圧制御発振器(VCO)、14、44-1、44-2、44-n 送信アンテナ、16a、16b 受信アンテナ、18a、18b 検波器、20、50、70 信号処理装置、22a、22b 周波数分析部、24a、24b ピーク検出部、26 方位演算部、28 ペアリング部、30 距離・速度演算部、48 統合処理部、72 追尾フィルタ処理部。

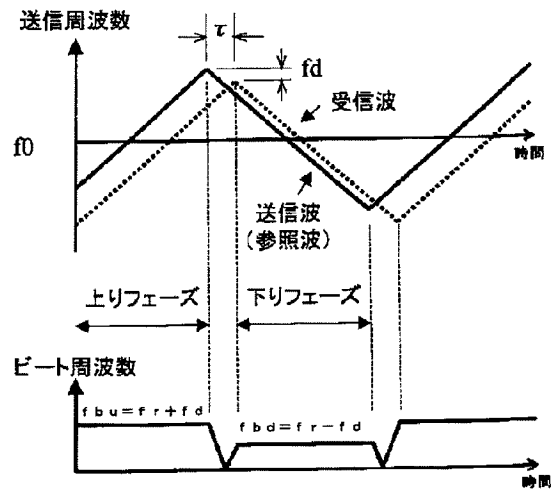
【図1】



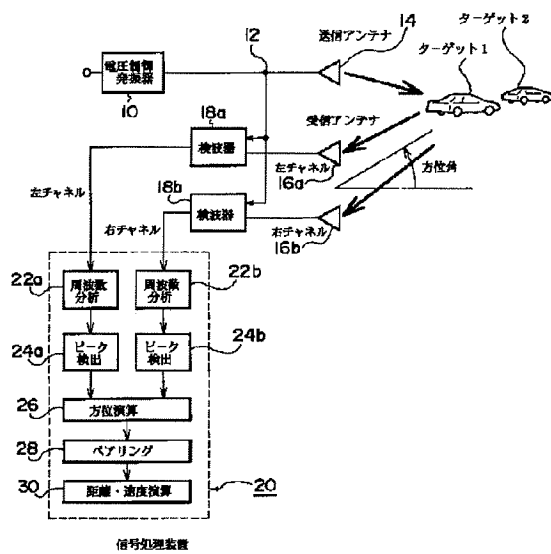
【図2】



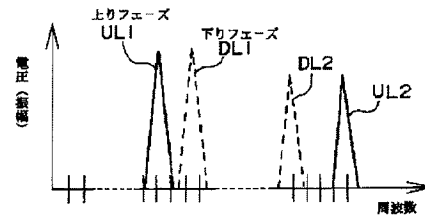
【図3】



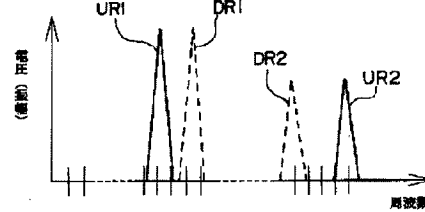
【図4】



【図5】

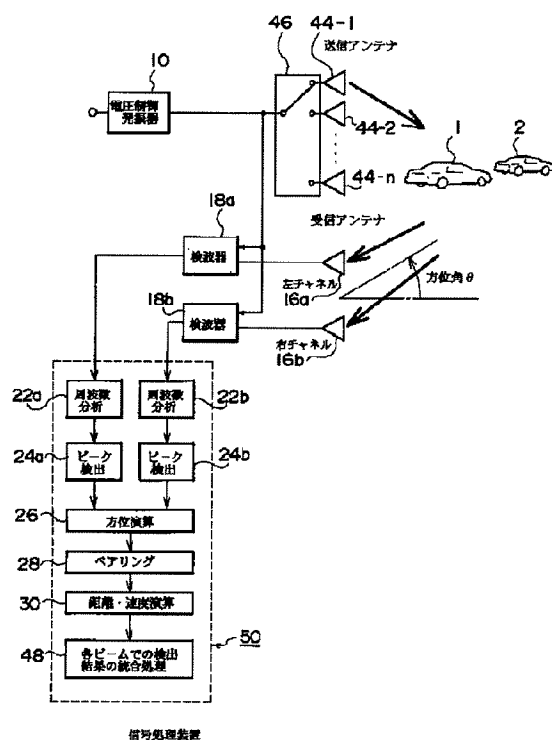


(a) 左チャンネル

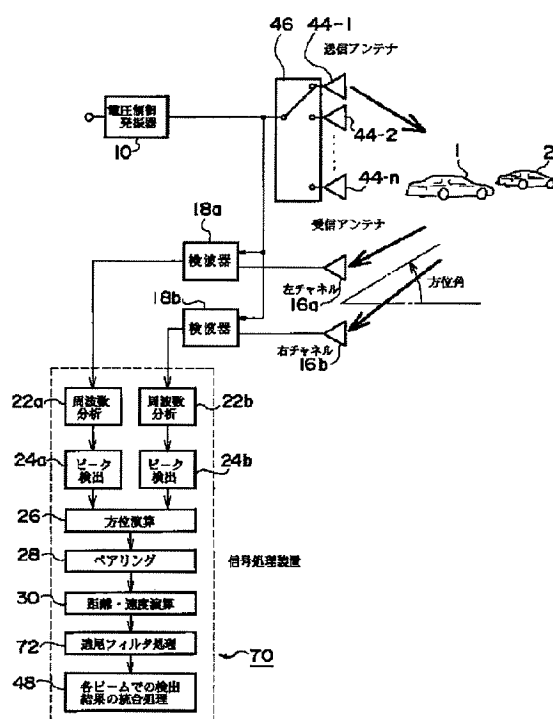


(b) 右チャンネル

【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 原田 知育  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 山田 直之  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内